DOI:10.11931/guihaia.gxzw201902015

广西乐业大石围天坑群种子植物区系研究

沈利娜[1]，侯满福[2*]，许为斌[3]，黄云峰[4]，梁士楚[5]，张远海[1]，蒋忠诚[1]，陈伟海[1]

（1. 自然资源部广西岩溶动力学重点实验室，岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室，中国地质科学院岩溶地质研究所，广西桂林 541004；2. 岩溶生态与环境变化研究广西高校重点实验室，广西师范大学 环境与资源学院，广西 桂林 541004；3. 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室，广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所，广西 桂林 541006；4. 广西中药质量标准研究重点实验室，广西壮族自治区中医药研究院，南宁 530022； 5. 广西师范大学 生命科学学院，广西 桂林 541004 ）

摘　要：广西乐业大石围天坑群是最典型的塌陷型天坑群。采用样线法和样方法对天坑群种子植物进行了实地调查，结合已有资料综合分析了大石围天坑群种子植物区系特征。结果表明：大石围天坑群野生种子植物丰富，有137科445属863种；在科级和属级水平上，地理成分以热带成分为主，中国特有成分相对贫乏；与热带区系的联系主要以泛热带成分为主，与温带区系的联系主要以北温带成分为主；热带科和温带科之比, 热带属和温带属之比，大石围天坑群都小于中国乐业-凤山世界地质公园，其种子植物区系更能反映该地区过去植物组成的“原貌”，即温带成分过去较现代比例更高, 是全球气候变暖的有力证据；天坑群保育了82种珍稀濒危植物，包括30属67种野生兰科植物，是现存珍稀濒危植物的“避难所”。

关键词：大石围天坑群，种子植物区系，气候变暖证据，避难所

中图分类号：Q948.5　　　　　　**文献标识码**：A

Researches on flora of seed plants in Guangxi Leye Dashiwei Karst Tiankeng Group

SHEN Lina[1], HOU Manfu[2] *, XU Weibin[3], HUANG Yunfeng[4], LIANG Shichu[5], ZHANG Yuanhai[1], JIANG Zhongcheng[1], CHEN Weihai

(1. *Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR & Guangxi Key Laboratory of Karst Ecosystem and Treatment of Rocky Desertification, MNR, Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences*, Guilin 541004, Guangxi, China; 2. *Key Laboratory of Karst Ecology and Environment Change of Guangxi Department of Education*, *College of Environment and Resource, Guangxi Normal University*, Guilin 541006, Guangxi, China; 3. *Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences*, Guilin 541006, Guangxi, China; 4. *Guangxi Key Laboratory of Traditional Chinese Medicine Quality Standards, Guangxi Institute of Chinese Medicine & Pharmaceutical Science*, Nanning 530022, Guangxi, China; 5. *College of Life Science, Guangxi Normal University*,

---

基金项目：国家自然科学基金 (41661012)；广西自然科学基金（2018JJA150116）；广西教育厅项目（200911MS142）；岩溶生态与环境变化研究广西高校重点实验室开放课题(YRHJ16Z15)；第四次全国中药资源普查（广西）试点普查项目（GXZYZYPC13-8）；全国重要地质遗迹调查（DD20179313）；西南岩溶区碳酸盐岩地质遗迹调查与评价[Supported by the National Natural Science Foundation of China(41661012); Natural Science Foundation of Guangxi (2018JJA150116); The Science Research Fund of Guangxi Education Department (200911MS142); Open Fund for Key Laboratory of Karst Ecology and Environment Change of Guangxi Department of Education; The Fourth National Traditional Chinese Medicine Resources Survey Project (GXZYZYPC13-8); National Important Geological Sites Survey (DD20179313); Survey and Evaluation of Carbonate Geological Sites in Southwest Karst Area]。

作者简介：沈利娜（1982-），女，湖南湘潭人，博士，副研究员，主要从事岩溶生态和环境地质研究，（E-mail）shenlina@karst.ac.cn。

***通信作者**：侯满福，博士，副教授，主要从事植物生态学和生物多样性保护研究，（E-mail）houmanfu@163.com。

Guilin 541006, Guangxi, China)

Abstract: Dashiwei Karst Tiankeng Group, which lies in Leye County, Guangxi (Global GeoPark), is the most typical collapsing tiankeng group. Many species survived and live in the relative isolated habitats in karst tiankengs. However, the flora of the area left insufficiently known because some of the karst tiankengs are difficult to reach. Based on available data and further field surveys including transect lines and quadrats covering the whole area and interior of main karst tiankengs, the characteristics of the flora of seed plants were analyzed. The result shows that native seed plants in Dashiwei Karst Tainkeng Group is abundant and various, including 863 species belonging to 445 genera and 137 families. In terms of genus and family level, tropical element is the main floristic geographical components. Species endemic to China are rather poor. Either the ratio of tropical families to temperate families or the ratio of tropical genera to temperate genera is smaller in Dashiwei Karst Tiankeng Group than that of the whole Leye-Fengshan Global Geopark. The seed plant composition of Dashiwei Karst Tiankeng Group can better reflect the original composition of the past. Temperate floristic components used to be more abundant than they are today, which is a persuasive evidence of global warming. In light of 82 species of rare and endangered plants conserved (including 67 wild orchids belonging to 30 genera), Tiankeng group has become a“refuge”for the existing rare and endangered species.

Key words：Dashiwei Karst Tiankeng Group, flora of seed plants, evidence of global warming, refuge

天坑是碳酸盐岩地区由溶洞大厅形成的，深度和口径不小于 100 m，和（或）容积大于 100 万 m^3，四周或大部分周壁陡崖环绕，且或曾与地下河溶.洞相通的特大型漏斗 (White & David , 2012)。随着奉节小寨天坑、武隆箐口“漩坑”、广西乐业“大石围”天坑等的相继发现，引发了天坑研究的热潮。国际学者从天坑形态、成因、发育等方面进行了研究和讨论(Waltham, 2005)，朱学稳研究团队于 2003 年初步建立了天坑理论体系(朱学稳和黄保健, 2003)。

天坑是岩溶地区最壮观奇特的负地形景观，吸引了地质、地理、景观、生物、环境、旅游、探险等各个方面的研究者，不断取得新的研究成果和进展。大石围天坑群是研究最早也最系统的天坑群。自 1998 年以来，大石围天坑群地区的地质地貌调查、植物资源调查与旅游开发同步进行。地质地貌调查研究以朱学稳团队为主，逐渐阐明了天坑的形成条件、发育过程、景观旅游与科研价值（邓亚东等，2012）。天坑这一独特的生境中的生物多样性组成、形成与演化等也开展了系列调查研究。第三纪孢粉证据揭示天坑发育早期该区属于亚热带温暖湿润气候，主要植被为森林（刘金荣等，2004）。现存维管植物多样性、植被类型组成及其特征、观赏资源植物的调查研究一定程度上阐明了天坑植物组成的特点，揭示了植物多样性与天坑生境的密切关系（和太平等，2004;林宇，2005; 苏仕林等，2012），以及天坑相对孤立的负地形对生物多样性具有的保育作用（苏宇乔等，2016）。冯慧喆（2015）结合天坑发育特点和区系组成特征将天坑区系的发展划分为发育前期、中期和后期三个阶段，进一步揭示了植物多样性和天坑发育之间的关系。然而，由于天坑险峻，绝壁表面积大，风化时间长，相当部分天坑均需借助绳降才能进入坑底，且滚石很多，坑底开展工作危险而困难，大多已有调查局限在容易进入的部分天坑，有时集中了进入天坑的力量也仅能择重点少量调查，导致不同时期调查统计的植物数量变动很大，如 2004 年调查报道的兰科植物为 15 属 27 种（黄保健等，2004），2015 年减少为 10 属 22 种（冯慧喆，2015）。这表明天坑种子植物区系的调查还很不全面，对正确认识这一独特地貌及其中的生物以及开展相应的生物多样性保护工作还非常欠缺。本研究结合前人的资料和 2016 年的大石围天坑群联合调查成果，全面开展大石围天坑群种子植物区系特征研究，为深入探讨大石围天坑群种子植物区系地理及其生物多样性保护研究提供支撑和参考，为天坑理论的完善提供种子植物区系方面的调查资料和理论依据，同时丰富岩溶区种子植物区系和生物多样性研究的基础资料。

1 研究区概况

大石围天坑群位于广西百色市乐业县中部，106°21′49"—106°40′37" E、24°51′50"—24°56′06" N 之间。该天坑群发育于乐业县最大和最为重要的、由碳酸盐岩地层和一系列弧形褶皱、压扭性断裂组成的 S 型构造区域 (广西壮族自治区地质矿产局，1978) ，且集中分布于这一地带的中间部位，即广西四大地下河之一百朗地下河的中游段（图 1）。

自古近纪以来，大石围天坑群经历了由半干旱、干旱逐步向温暖潮湿转换的气候演变(王乃昂,1994)，尤其第四纪以来，明显的季风气候、丰沛的降水量和水热同期的气候为大型地下河和天坑的发育提供了最基本的动力条件(王晓梅等，2005)。现代大石围天坑群与乐业县一样，年平均降水量 1 356.4 mm，多年平均气温 16.4 ℃，多年平均蒸发量 1 105 mm，气候干湿季节分明，水热同期。这种地质条件及历史气候为天坑发育创造了基础条件，并影响了植物区系的组成与发展。

百朗地下河具有惊人的侵蚀、溶蚀和搬运能力，是大石围天坑群发育之母(广西壮族自治区地质矿产局,1982)。截至 2018 年，广西乐业大石围天坑群共发现 29 个天坑，包括 2 个特大型天坑、2 个大型天坑和 25 个一般天坑，集中分布在同乐镇大曹屯至花坪乡新场屯一带，东西长 20 km，南北宽 4～8 km，约 100 km^2 范围内（图 1）。天坑坑口集中出现于标高 1 200～1 466 m 的区间内，集中发育于上石炭统至上二叠统碳酸盐岩地层中，主要分布于上石炭统马平组和中二叠统栖霞组、茅口组灰岩中。天坑与其周围的峰丛、漏斗、谷地、天窗、竖井、消水洞、干洞、地下河等构成颇具特色的岩溶水文-地貌系统（朱学稳等，2018）。

天坑坑口平面形态有不规则多边形和近圆至椭圆形态（图 2）。天坑剖面形态由周壁和坑底地形决定，有绝壁-陡坡型、绝壁-缓坡型和绝壁-平底型 3 种类型，大石围天坑群是具有这三种类型的典型代表。天坑险峻且半封闭的空间，最大限度地减少了外界自然和人为的干扰，不同天坑在发育、形态、规模上差异较大，同一个天坑在坑口、坑壁和坑底的水热条件差异明显，在特殊的地质条件下，形成了天坑群独特的生态环境。大石围天坑群位于典型的岩溶高峰丛区，岩溶发育、天坑小生境复杂，为不同植物生存繁衍提供了差异化的生境（图 3）。

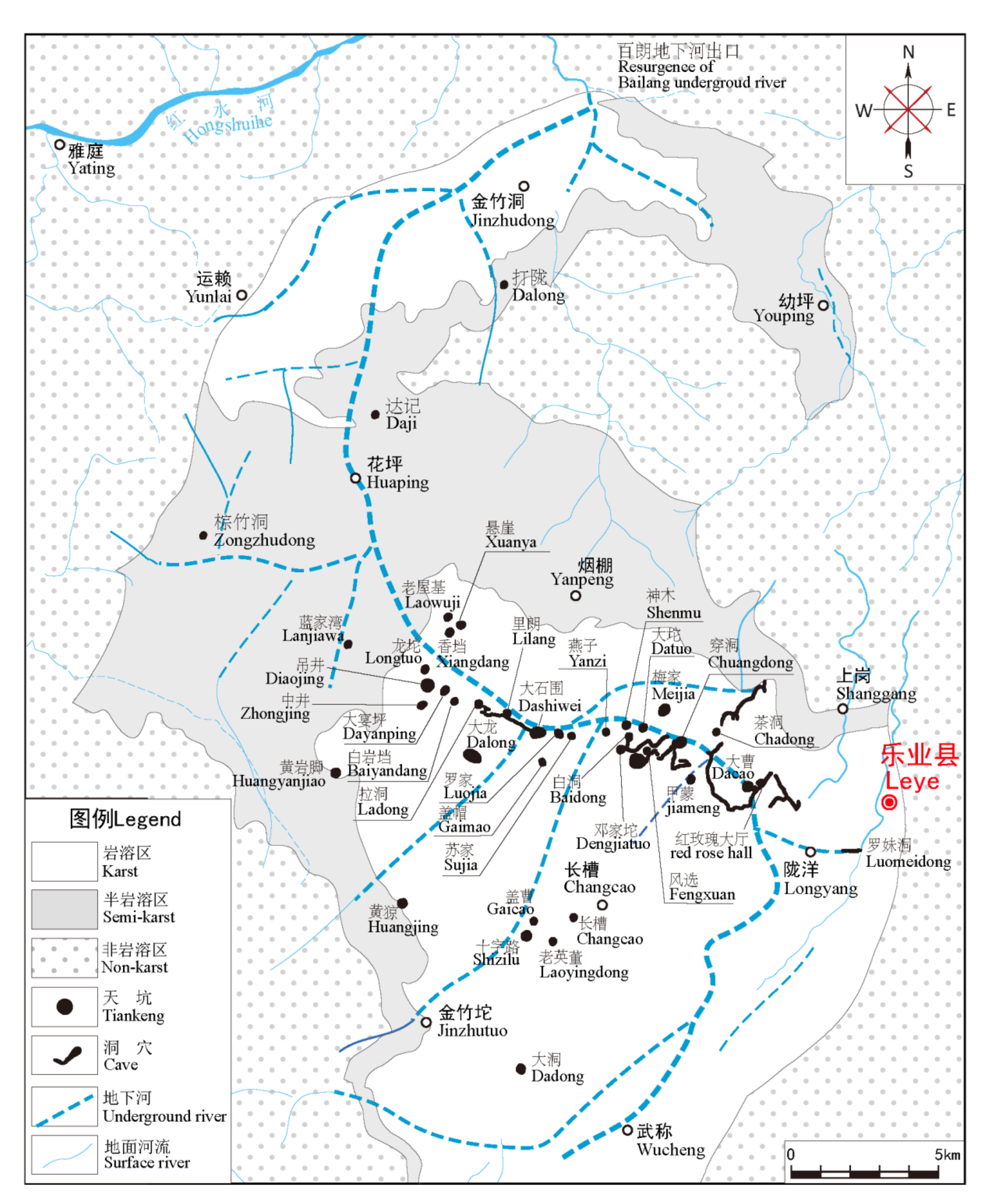


图 1 广西大石围天坑群分布图

Fig.1 Distribution map of Dashiwei Karst Tiankeng Group, Guangxi

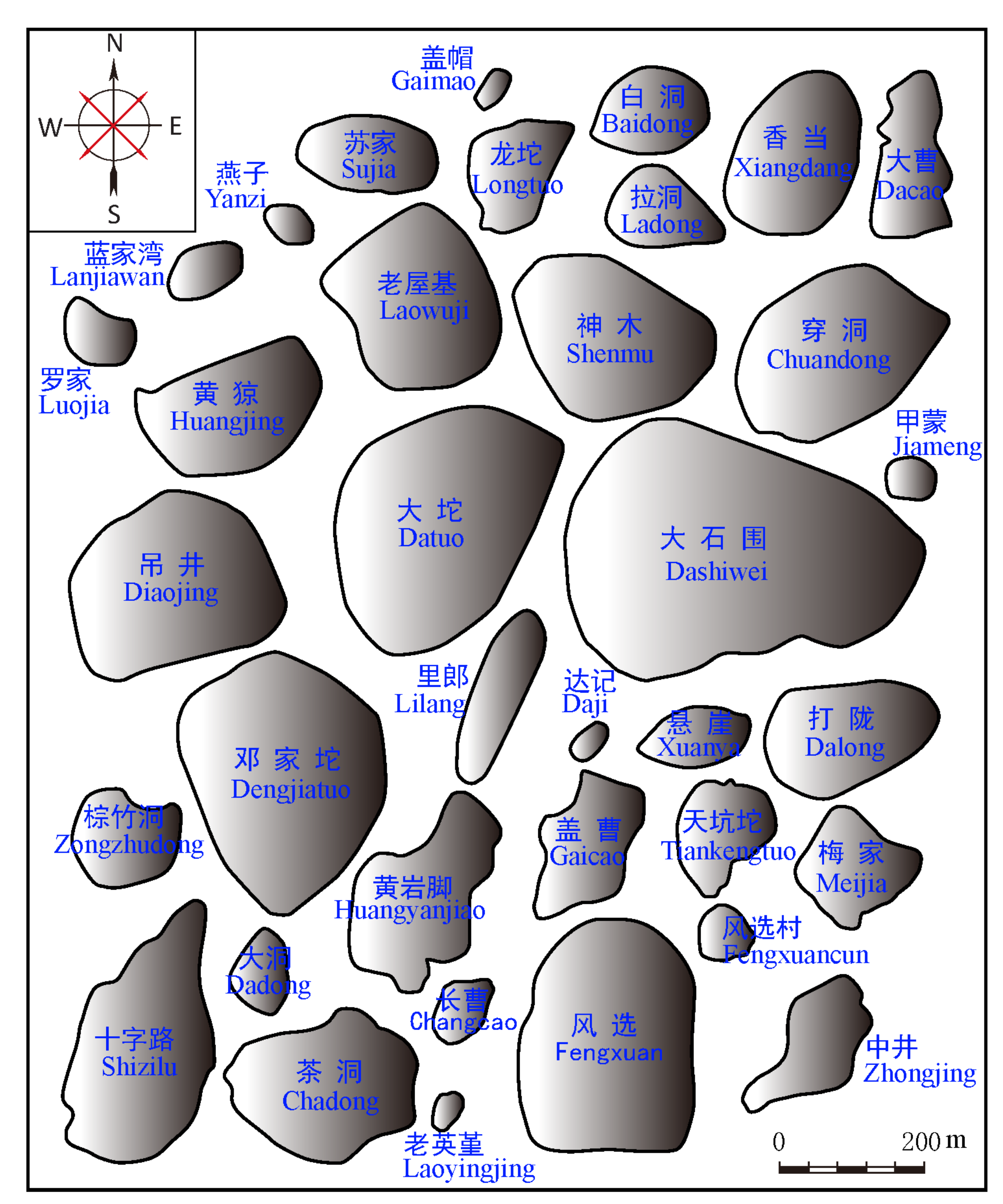


图 2 广西大石围天坑群天坑和漏斗平面图

Fig.2 Planar graph of Tiankeng and doline in Dashiwei Karst Tiankeng Group, Guangxi

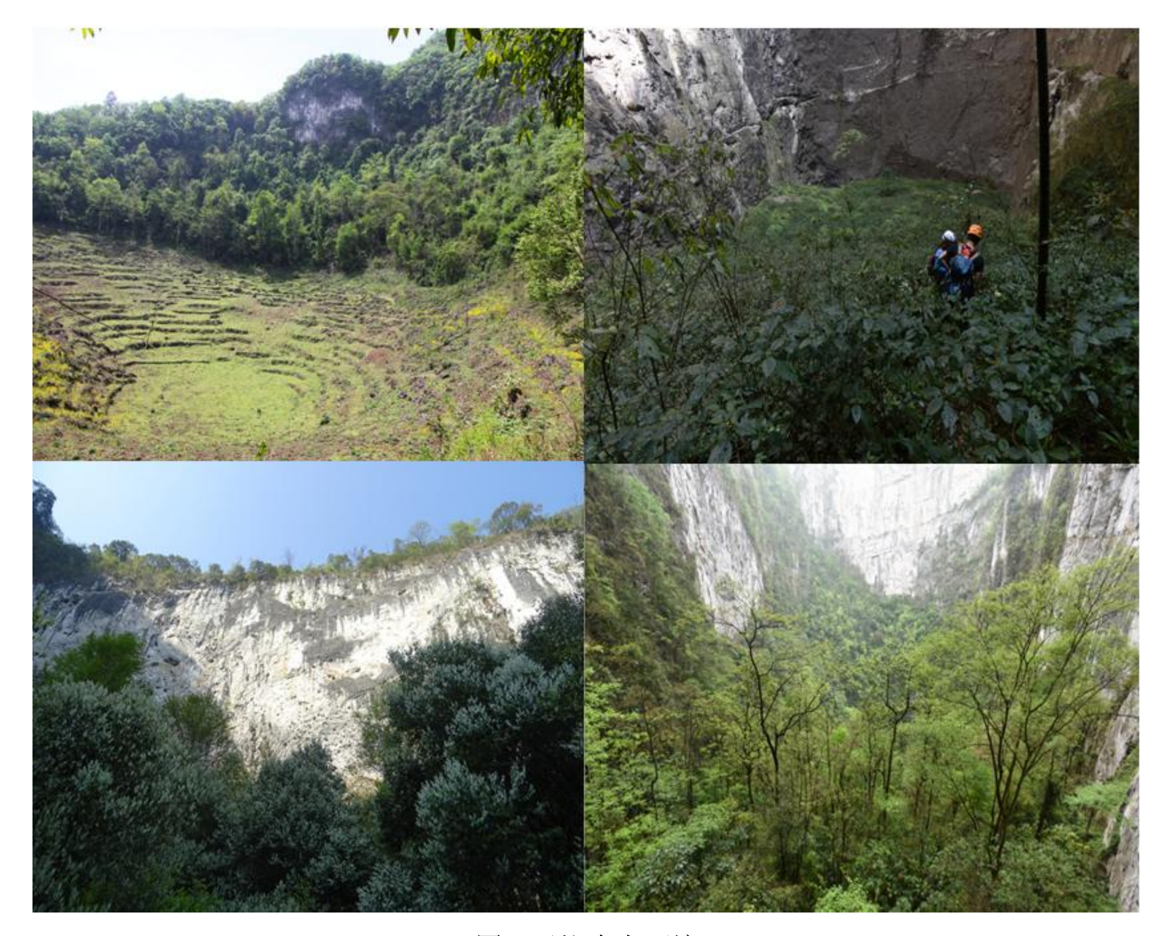


图 3 天坑生态环境

Fig.3 Ecological environment in karst Tiankengs

2 研究方法

2.1 野外调查方法

基于高分辨率遥感数据，结合乐业已有植被资料，使用无人机进行辅助调查线路设计，选择天坑群范围内有代表性的区域布设调查路线，进行样线调查，现场记录遇到的植物名称，采集标本，拍摄影视资料并进行室内物种鉴定。将大石围、白洞、穿洞、神木等 23 个典型天坑作为重点调查区域，对植物种类、数量、分布、干扰等情况进行调查，采用单绳技术(SRT)进入大石围、燕子、白洞等陡峻的天坑，并采用无人机进行天坑及其生态环境的拍摄。针对典型的植物群落，进行样方调查，样方面积为 20 m×20 m，乔木层逐株调查，记录种名、胸径、高度和冠幅，灌木层和草本层记录种名、高度和盖度；对小样地内未出现而大样地内出现的种记录种名。生境因子记录海拔、坡度、坡向、坡位、岩性、地质条件和土壤状况等（沈利娜等，2017）。具体调查情况见表 1。

表 1 广西大石围天坑群调查情况

Table1 Investigated tiankengs in Dashiwei Karst Tiankeng Group, Guangxi

序号 Sequence	名称 Name	类型 Type	调查方式 Survey method	序号 Sequence	名称 Name	类型 Type	调查方式 Survey method
1	大宴坪 Dayanping	D, VL	UAV, LT	16	白洞 Baidong	N	UAV, LT, Q
2	大石围 Dashiwei	VL	UAV, LT, Q	17	打陇 Dalong	N	UAV
3	大坨(流星) Datuo（Liuxing）	D, L	UAV, LT, Q	18	拉洞 Ladong	N	UAV
4	黄岩脚 Huangyanjiao	D, L	UAV	19	苏家 Sujia	N	UAV, LT, Q
5	吊井 Diaojing	L	UAV, LT	20	盖曹 Gaicao	N	UAV, LT

6	茶洞 Chadong	L	UAV, LT	21	燕子 Yanzi	N	UAV, LT
7	邓家坨 Dengjiatuo	L	UAV, LT, Q	22	悬崖 Xuanya	N	UAV, LT
8	香垱 Xiangdang	L	UAV, LT	23	中井 Zhongjing	N	UAV
9	十字路 Shizilu	L	UAV, LT	24	龙陀 Longtuo	N	UAV, LT
10	穿洞 Chuandong	N	UAV, LT,Q	25	大曹 Dacao	N	UAV, LT
11	老屋基 Laowuji	N	UAV, LT	26	棕竹洞 Zongzhudong	N	UAV
12	神木 Shenmu	N	UAV, LT, Q	27	里朗 Lilang	D	UAV, LT
13	梅家 Meijia	D	UAV, LT	28	大洞 Dadong	N	UAV
14	风选 Fengxuan	N	UAV, LT	29	蓝家湾 Lanjiawan	N	UAV, LT
15	黄猄洞 Huangjingdong	N	UAV, LT				

注：**D**. 退化天坑，**VL**. 特大型天坑，**L**. 大型天坑，**N**. 一般天坑，**UAV**. 无人机，**LT**. 样线，**Q**. 样方。
Note: **D**. Degraded Tiankeng, **VL**.Very Large Tiankeng, **L**. Large Tiankeng, **N**. Normal Tiankeng, **UAV**. Unmanned aerial vehicle, **LT**. Line transect, **Q**. Quadrat.

2.2 数据处理

依据大石围天坑群23个典型天坑及其周边地表野外调查数据和文献资料，形成广西乐业大石围天坑群植物数据集。在此基础上进行区系统计分析，其中，科的分布区类型按吴征镒等（2003）《世界种子植物科的分布区类型》划分，属的分布区类型按吴征镒等（2006）《种子植物分布区类型及其起源和分化》划分。保护植物根据IUCN（2018）《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》、CITES(2016)《濒危野生动物植物物种国际贸易公约》附录、国家重点保护野生动植物(汪松和解焱,2004)等进行统计。

3 结果与分析

调查中新发现 1 个特大型天坑--大宴坪天坑，位于花坪镇大宴坪村，属典型的退化型天坑(沈利娜等，2017)。该天坑底部北东侧为白岩垱漏斗（口部长轴 100 m，短轴 5 0m，深 100 m），形成“坑中坑”景观，其地势险峻，植被发育，物种丰富（图 4）。



图 4 大宴坪天坑和白岩垱漏斗（唐全生摄）
Fig.4 Dayanping Tiankeng and Baiyandang doline (Photoed by Tang Quansheng)

3.1 种子植物区系的基本组成

本次调查研究以野生种子植物为主，去除 19 个栽培植物（含归化种），该区域计有野生种子植物 137 科 445 属 863 种。其中裸子植物 4 科 7 属 10 种，被子植物 133 科 438 属 853 种。在被子植物中双子叶植物

116 科 346 属 671 种，单子叶植物 17 科 92 属 182 种（表 2）。

大石围天坑群植物区系组成中，裸子植物比较贫乏，无论科数、属数和种数均很少，分别占种子植物总数的 2.92%，1.57%和 1.16%，说明它们在区系组成中不起重要作用，而被子植物丰富，其科、属、种数分别占总数的 97.08%，98.42%，98.84%。

表 2 广西大石围天坑群野生种子植物区系组成统计

Table 2 Statistics of native seed plants in Dashiwei Karst Tiankeng Group, Guangxi

分类 Classification		科 Family		属 Genera		种 Species	
		数量 Number	比例 Percentage(%)	数量 Number	比例 Percentage (%)	数量 Number	比例 Percentage (%)
裸子植物 Gymnosperm		4	2.92	7	1.57	10	1.16
被子植物 Angiosperm	双子叶植物 Dicotyledon	116	84.67	346	77.75	671	77.75
	单子叶植物 Monocotyledon	17	12.41	92	20.67	182	21.09
合计 Total		137	100.00	445	100.00	863	100.00

3.2 科的地理成分分析

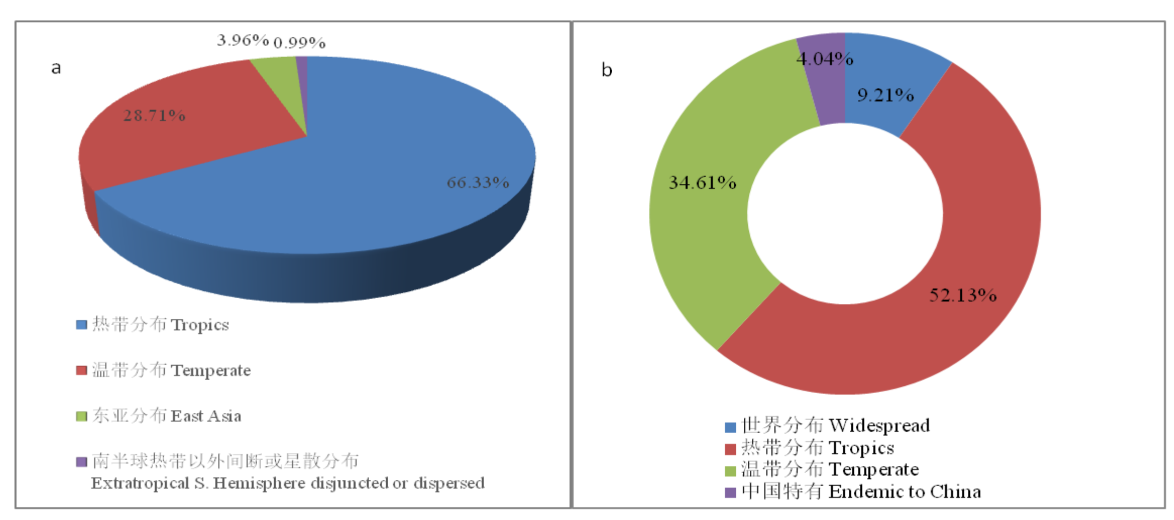
按照吴征镒等（2003）对世界种子植物科的分布区类型系统划分观点，广西乐业大石围天坑群种子植物科的地理成分以热带成分为主，在总共137科中热带成分占2/3以上，温带成不足1/3，东亚成分占3.96%，南半球热带以外间断或星散分布仅占0.99%（表3，图5：a）。热带科和温带科之比约为2.31:1。根据沈利娜等（2018）对中国乐业-凤山世界地质公园种子植物区系的整体研究，该园区177科，945属，2406种野生种子植物中，热带分布科占总科数的70.79%，温带分布科占25.39%，东亚分布科占3.08%，南半球热带以外间断或星散分布科占0.77%；热带科和温带科之比约为2.79:1。两相对比，位于中国乐业-凤山世界地质公园西北部的大石围天坑群与地质公园整体在种子植物区系科极水平上具有相似的组成，都体现了明显的热带性质；但天坑群的热带成分比例较低，温带成分比例较高，热带科和温带科之比较小，表明天坑群种子植物科的热带性较地质公园整体低。

表 3 广西大石围天坑群种子植物科的区系类型

Table 3 Areal-types of families of seed plants in Dashiwei Karst Tiankeng Group, Guangxi

分布类型 Areal-type	科数 Family number	比例 Percentage (%)
1.世界广布 Widespread	36	*
2.泛热带分布 Pantropic	42	41.58
2-1.热带亚洲-大洋洲（至新西兰）-中南美（或墨西哥）分布 Trop. Asia-Australasia and Trop. Amer.	1	0.99
2-2.热带亚洲，非洲和热带美洲（南美洲）分布 Trop. Asia-Afr. -Trop. Amer. (S. Amer.)	2	1.98
2S.以南半球为主的泛热带 Pantropic especially S. hemisphere	4	3.96
3.东亚（热带、亚热带）及热带南美洲分布 Trop. ＆ Subtr. E. Asia ＆ (S.) Trop. Amer. disjuncted	9	8.91
4.旧世界热带分布 Old World Tropics	3	2.97
5.热带亚洲-热带大洋洲分布 Trop. Asia to Trop. Australasia Oceania	4	3.96
6.热带亚洲至热带非洲分布 Trop. Asia to Trop. Africa	1	0.99
7.热带亚洲分布 Trop. Asia	1	0.99

8.北温带分布 N. Temp .	7	6.93
8-4.北温带和南温带间断分布 N. Temp ＆ S. Temp. disjuncted	14	13.86
8-5.欧亚和南美温带间断分布 Eurasia ＆ Temp. S. Amer. disjuncted	1	0.99
8-6.地中海、东亚、新西兰和墨西哥-智利间断分布 Medilerranea, E. Asia, N.Z. and Mexico-Chile disjuncled	1	0.99
9.东亚-北美间断分布 E. Asia ＆ N. Amer. disjuncted	5	4.95
10．旧世界温带分布 Old World Temperate	1	0.99
14.东亚分布 E. Asia	3	2.97
14SJ.日本特有 Endemic to Japan	1	0.99
16.南半球热带以外间断或星散分布 Extratropical South Hemisphere disjuncted or dispersed	1	0.99
合计 Total	137	



注：**a**. 科的地理成分组成；**b**. 属的地理成分组成。

Note: **a**. Family level; **b**. Genus level.

图 5 广西大石围天坑群种子植物区的地理成分组成

Fig.5 Floristic composition of seed plant of Dashiwei Karst Tiankeng Group, Guangxi

3.3 属的地理成分分析

植物属的区系成份能有效地反映植物区系的特征，也能一定程度揭示植物区系的发生和发展历程。按《中国种子植物分布区类型及其起源和分化》中属的分布区类型的划分，广西大石围天坑群种子植物属的分布区类型除中亚分布没有外，其余 14 个类型都具备（表 4）。在各地理成分中泛热带分布属的数目最大，达 73 属，占天坑群种子植物总属数（除世界分布属外共 471 属，下同）的 16.40%，热带亚洲（印-马）分布其次，共 65 属，占 14.61%，北温带分布属居第三，共有 51 属，占 11.46%（表 4）。合计分布区类型 2～7 的热带分布性质属共计 232 属，占比超过一半；8～14 温带性质属共计 154 属，约 1/3 强，余下的为中国特有属 18 属，仅占 4.04%（图 5：b），从属的地理成分看，其热带性质明显，中国特有成分相对贫乏。

大石围天坑群分布的中国特有属主要是黄精属（*Polygonatum*）、单枝竹属（*Monocladus*）、青檀属（*Pteroceltis*）、八角莲属（*Dysosma*）、掌叶木属（*Handeliodendron*）。其中不少属内的种属于保护植物，如八角莲（*Dysosma versipellis*）、掌叶木(*Handeliodendron bodinieri*)等。

根据沈利娜等（2018）对中国乐业-凤山世界地质公园种子植物区系的整体研究，其泛热带分布属的数目最大，达 183 属，占园区种子植物总属数（除世界分布属外共 885 属）的 20.68%，热带亚洲（印-马）分

布其次，共 165 属，占 18.64%，旧世界热带分布属居第三，共有 91 属，占 10.28%。合计 2～7 为热带分布性质的属共计 588 属，占 66.44%，8～14 为温带性质属共计 269 属，占 30.40%，余下的为中国特有属 28 属，占 3.16%。二者对比，大石围天坑群与园区整体的种子植物属的地理成分具有较类似的组成，且都体现了热带分布性质。但天坑群属的热带成分比例较地质公园低，温带成分比例较地质公园高，与科级水平上的趋势一致，而且在属的水平上，反应更加明显。

这种在科级和属级水平区系组成表现出来的共同特征，可能反映了天坑这一独特地貌发育过程中对植物区系的塑造。天坑相对封闭，保留有地下河的天坑如同有天然的"中央空调"，能更好地调节天坑内的温度、湿度，维持小气候不受外界气候变化干扰，为植物生存、发育提供良好、稳定的环境，从而保育了更多过去遗留下来的温带成分，其区系组成信息也更能反映该区过去物种组成的"原貌"。这一定程度反映了过去该地区种子植物组成中温带成分较现代比例更高，随着时间推移热带成分不断增加、温带成分相对减少的事实。Gang et al.（2019）指出天坑是研究森林生态系统气候变暖的理想开放实验室,大石围天坑群种子植物区系组成特征恰恰印证了这一观点。

表 4 广西大石围天坑群种子植物属的分布区类型及与中国属数对比

Table 4 Areal-types of genera of seed plants in Dashiwei Karst Tiankeng Group, Guangxi and comparison with that of in China

分布类型 Areal-type	属数 Genera	占总属数 Percentage in total genera (%)	中国属数 Genera in China	占中国该类型属数 Percentage in total genera in China(%)
1.世界分布 Widespread	41	*	104	39.42
2.泛热带分布 Pantropic	73	18.07	365	20.00
3.热带亚洲和美洲分布 Trop. Asia &Trop. Amer.	11	2.72	71	15.49
4.旧世界热带分布 Old world tropics	43	10.64	176	24.43
5.热带亚洲至大洋洲分布 Trop. Asia to Trop. Australasia Oceania	26	6.44	149	17.45
6.热带亚洲至非洲分布 Trop. Asia to Trop.Africa	14	3.47	169	8.28
7.热带亚洲（印-马）分布 Trop. Asia (Indo-Malaya)	65	16.09	618	10.52
8.北温带分布 N. Temp.	51	12.62	303	16.83
9.东亚和北美洲间断分布 E. Asia & N. Amer. disjuncted	30	7.43	126	23.81
10.旧世界温带分布 Old World Temperate	20	4.95	167	11.98
11.温带亚洲分布 Temp. Asia	1	0.25	58	1.72
12.地中海、西亚至中亚分布 Medit. , W. to C. Asia	4	0.99	172	2.33
13.中亚分布 C. Asia	0	0.00	117	0.00
14.东亚分布 E. Asia	48	11.88	307	15.64
15.中国特有分布 Endemic to China	18	4.46	267	6.74
合计 Total	445	100.00	3169	14.04

注：*表示百分比不含世界分布的属，总数为其它 14 个分布区类型共计 404 属。

Note:* means without widespread genera，the total genera is 404 genera belonging to 14 areal-types.

3.4 珍稀濒危种子植物

广西乐业大石围天坑群保育了 82 种珍稀濒危种子植物，其中国家I级保护植物 2 种，国家II级保护植物 5 种，IUCN 红色名录收录极危种 2 种，濒危种 2 种，易危种 7 种，广西重点保护植物 6 种。其中葫芦叶马兜铃(*Aristolochia curcurbitoides*)为首次在乐业发现，仅分布于燕子洞天坑底部。广西乐业大石围天坑群珍稀濒危种子植物及其分布详见表 5。

表 5 广西乐业大石围天坑群珍稀濒危种子植物

Table 5 Rare and endangered seed plants of Guangxi Leye Dashiwei Tiankeng group

科名 Family	中文名 Chinese name	拉丁名 Latin name	保护等级 Protect plant level
鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	低头贯众	*Cyrtomium nephrolepioides*	VU
松科 Pinaceae	黄枝油杉	*Keteleeria davidiana* var. *calcarea*	GX
松科 Pinaceae	华南五针松	*Pinus kwangtungensis*	II
三尖杉科 Cephalotaxaceae	西双版纳粗榧	*Cephalotaxus mannii*	II, VU, GX
红豆杉科 Taxaceae	灰岩红豆杉	*Taxus calcicola*	I
木兰科 Magnoliaceae	香木莲	*Manglietia aromatica*	II, VU
八角科 Illiciaceae	地枫皮	*Illicium difengpi*	II
小檗科 Berberidaceae	八角莲	*Dysosma versipellis*	VU, GX
马兜铃科 Aristolochiaceae	葫芦叶马兜铃	*Aristolochia curcurbitoides*	VU, GX
紫堇科 Fumariaceae	岩黄连	*Corydalis saxicola*	GX
蝶形花科 papilionaceae	南岭黄檀	*Dalbergia balansae*	VU
楝科 Meliaceae	红椿	*Toona ciliata*	II
无患子科 Sapindaceae	掌叶木	*Handeliodendron bodinieri*	I
胡桃科 Juglandaceae	青钱柳	*Cyclocarya paliurus*	GX
五加科 Araliaceae	秀丽楤木	*Aralia debilis*	VU

注：**I**. 国家一级保护，**II**. 家国家二级保护，**CR**. 极危，**EN**. 濒危，**VU**. 易危，**GX**. 广西重点保护。

Note: **I**. National class I protected plants, **II**. National class II protected plants, **CR**. Critically Endangered, **EN**. Endangered, **VU**. Vulnerable, **GX**. Guangxi Key Protected Plants.

2010 年，广西公布了《广西壮族自治区第一批重点保护野生植物名录》，所有的兰科植物都被纳入名录的保护范围，占该名录保护植物种类的 80%以上。广西乐业大石围天坑群与广西雅长兰科植物自然保护区在地理位置和地质环境上相近，经多次实地调查，截至 2016 年，大石围天坑群及附近地表区域（不含雅长兰科保护区）分布有 30 属 67 种兰科植物，其中地生兰 38 种，附生兰 26 种，腐生兰 3 种，分别占到大石围天坑群兰科植物总种数的 56.72%、38.81%和 4.48%（表 6）。兰科植物中的绿花杓兰（*Cypripedium henryi*）和铁皮石斛（*Dendrobium officinale*）为极危种，小叶兜兰（*Paphiopedilum barbigerum*）和长瓣兜兰（*Paphiopedilum dianthum*）为濒危种。

表 6 广西乐业大石围天坑群野生兰科植物

Table 6 Wild orchid of Guangxi Leye Dashiwei Karst Tiankeng Group

中学名 Chinese name	拉丁学名 Name	生活型 Lifeform	分布天坑 Tiankeng distribution	分布海拔 Altitude (m)
耿马齿唇兰	*Anoectochilus gengmanensis*	地生 Geophyte	邓家坨 Dengjiatuo	1 000
西南齿唇兰	*Anoectochilus elwesii*	地生 Geophyte	穿洞 Chuandong	800~1 400
小白及	*Bletilla formosana*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	700~1 200
天贵卷瓣兰	*Bulbophyllum*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	1 000
广东石豆兰	*Bulbophyllum*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	900~1 400
细花虾脊兰	*Calanthe mannii*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	1 000~1 500
南岭头蕊兰	*Cephalanthera nanlingensis*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	900~1 100

川滇叠鞘兰	*Chamaegastrodia inverta*	腐生 Saprophyte	大石围西峰 West hill of Dashiwei	1 400
云南叉柱兰	*Cheirostylis yunnanensis*	地生 Geophyte	大石围、黄猄 Dashiwei, Huangjing	600~1 400
西藏虎头兰	*Cymbidium tracyanum*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	1 000
莎叶兰	*Cymbidium cyperifolium*	地生 Geophyte	大石围、黄猄 Dashiwei, Huangjing	800~1 400
建兰	*Cymbidium ensifolium*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	600~1 700
蕙兰	*Cymbidium faberi*	地生 Geophyte	大石围、神木 Dashiwei, Shenmu	1 000~1 300
多花兰	*Cymbidium floribundum*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	800~1 300
春兰	*Cymbidium goeringii*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	600~1 300
寒兰	*Cymbidium kanran*	地生 Geophyte	黄猄 Huangjing	700~1 200
兔耳兰	*Cymbidium lancifolium*	地生 Geophyte	大石围、穿洞、黄猄 Dashiwei, Chuandong, Huangjing	600~1 400
大根兰	*Cymbidium macrorhizon*	腐生 Saprophyte	大石围 Dashiwei	750~1 300
大雪兰	*Cymbidium mastersiiGriff*	附生 Epiphyte	穿洞 Chuandong	1 600~1 800
邱北冬蕙兰	*Cymbidium qiubeiense*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	900~1 400
豆瓣兰	*Cymbidium serratum*	地生 Geophyte	神木 Shenmu	1 000~3 000
绿花杓兰	*Cypripedium henryi*	地生 Geophyte	神木 Shenmu	1 500
钩状石斛	*Dendrobium aduncum*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	700~1 000
叠鞘石斛	*Dendrobium aurantiacum*	附生 Epiphyte	大石围西峰 West hill of Dashiwei	700~1 300
石斛	*Dendrobium nobile*	附生 Epiphyte	老屋基 Laowuji	100~3 000
铁皮石斛	*Dendrobium officinale*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	800~1 300
火烧兰	*Epipactis helleborine*	地生 Geophyte	苏家、神木 Shujia, Shenmu	1 000
粗茎毛兰	*Eria amica*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	1 200
足茎毛兰	*Eria coronaria*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	800~1 300
菱唇毛兰	*Eria rhomboidalis*	附生 Epiphyte	风岩洞 Fengyandong	900~1 300
无叶美冠兰	*Eulophia zollingeri*	腐生 Saprophyte	黄猄 Huangjing	800~1 300
滇金石斛	*Flickingeria albopurpurea*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	1 000~1 400
红头金石斛	*Flickingeria calocephala*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	800~1 200
波密斑叶兰	*Goodyera bomiensis*	地生 Geophyte	邓家坨 Dengjiatuo	900~3 650
斑叶兰	*Goodyera schlechtendaliana*	地生 Geophyte	大石围西峰 West hill of Dashiwei	800~1 200
鹅毛玉凤花	*Habenaria dentata*	地生 Geophyte	吊井天坑 Diaojing	400~1 300
叉唇角盘兰	*Herminium lanceum*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	1 700~1 900
尖囊兰	*Kingidium braceanum*	附生 Epiphyte	风岩洞 Fengyandong	800~1 200
齿唇羊耳蒜	*Liparis campylostalix*	地生 Geophyte	大石围西峰 West hill of Dashiwei	1 400
平卧羊耳蒜	*Liparis chapaensis*	地生 Geophyte	风岩洞 Fengyandong	800~1 300
心叶羊耳蒜	*Liparis cordifolia*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	1 000~1 500
大花羊耳蒜	*Liparis distans*	附生 Epiphyte	罗家 Luojia	1 200~1 400
见血清	*Liparis nervosa*	地生 Geophyte	穿洞、黄猄 Chuandon, gHuangjing	1 050
紫花羊耳蒜	*Liparis nigra*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	800~1 300
长唇羊耳蒜	*Liparis pauliana*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	600~1 200
长茎羊耳蒜	*Liparis viridiflora*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	800~1 000
叉唇钗子股	*Luisia teres*	附生 Epiphyte	黄猄 Huangjing	700~1 400
浅裂沼兰	*Malaxis acuminata*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	800~1 400
二耳沼兰	*Malaxis biaurita*	地生 Geophyte	黄猄 Huangjing	900~1 300
毛唇芋兰	*Nervilia fordii*	地生 Geophyte	黄猄 Huangjing	1 000

毛叶芋兰	*Nervilia plicata*	地生 Geophyte	黄猄 Huangjing	800~1 200
剑叶鸢尾兰	*Oberonia ensiformis*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	800~1 000
广西鸢尾兰	*Oberonia kwangsiensis*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	1 000~2 000
棒叶鸢尾兰	*Oberonia myosurus*	附生 Epiphyte	风岩洞 Fengyandong	900~1 300
平卧曲唇兰	*Panisea cavaleriei*	附生 Epiphyte	大石围、大曹 Dashiwei, Dacao	800~1 200
小叶兜兰	*Paphiopedilum barbigerum*	地生 Geophyte	大石围东峰 East hill of Dashiwei	1 300
长瓣兜兰	*Paphiopedilum dianthum*	地生 Geophyte	大石围、黄猄 Dashiwei, Huangjing	800~1 200
带叶兜兰	*Paphiopedilum hirsutissimum*	地生 Geophyte	半月洞、黄猄 Banyuedong, Huangjing	800~1 200
硬叶兜兰	*Paphiopedilum micranthum*	地生 Geophyte	穿洞 Chuandong	800~1 200
阔蕊兰	*Peristylus goodyeroides*	地生 Geophyte	大石围西峰 West hill of Dashiwei	800~1 100
黄花鹤顶兰	*Phaius flavus*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	500~1 200
细叶石仙桃	*Pholidota cantonensis*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	800~1 200
尖叶石仙桃	*Pholidota missionariorum*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	800~1 200
云南石仙桃	*Pholidota yunnanensis*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	800~1 300
密花苹兰	*Pinalia spicata*	附生 Epiphyte	大石围 Dashiwei	800~1 100
绶草	*Spiranthes sinensis*	地生 Geophyte	大石围 Dashiwei	600~1 300
阔叶竹茎兰	*Tropidia angulosa*	地生 Geophyte	罗家 Luojia	500~1 100

地生兰中以兰属种类最多，达 9 种。常见的地生兰有兔儿兰、细花虾脊兰、莎叶兰、春兰、建兰、见血青等，罕见的有绿花杓兰、小叶兜兰、长瓣兜兰、带叶兜兰、硬叶兜兰、天贵卷瓣兰等。附生兰以石斛属（4 种）分布种类最多。常见的附生兰有叠鞘石斛、广东石豆兰、尖叶石仙桃、云南石仙桃等。分布的 3 种腐生兰为川滇叠鞘兰、大根兰和无叶美冠兰。

大部分珍稀濒危植物都集中分布在天坑底部、天坑岩壁或天坑地表边缘范围。天坑相对隔绝的负地形和稳定的生境是不仅保存了该区过去的区系成分，也是珍稀濒危物种保育的关键，最大限度地避免了自然和人为的干扰，成为演化长河中现存植物的"避难所"。

4 结论

（1）广西乐业大石围天坑群种子植物丰富，有野生种子植物137科445属863种，裸子植物贫乏，被子植物丰富。种子植物137科可划分为12个分布类型,445属可划分为15个分布类型。大石围天坑群科的地理成分以热带成分为主，占总科数的66.33%，总属数的52.13%，中国特有成分相对贫乏。该区域种子植物区系与热带区系的联系主要以泛热带成分为主，与温带区系的联系主要以北温带成分为主。

（2）在科级和属级水平，广西乐业大石围天坑群种子植物区系的热带成分比例都低于地质公园整体，温带成分比例都高于地质公园整体，表明过去该地区温带成分较现代比例更高，从侧面反映了该区除天坑特殊生境外的区域植物分布类型中热带成分不断增加，温带成分相对减少的事实。天坑群相对封闭和特殊负地形维持了更稳定、持续的温度、湿度小生境，不易受外界环境变化和人为干扰，有利于保存过去遗留下来的植物组成，更能反映过去该地区种子植物组成的"原貌"。

（3）广西乐业大石围天坑群有珍稀濒危种子植物82种，其中野生兰科植物30属67种。大部分珍稀濒危植物集中分布在各个天坑底部、岩壁和天坑与地表边缘地带，相对隔绝的负地形和稳定的生境是保护植物的"乐土"，缓冲了全球气候变化和人为的干扰，是现存珍稀濒危植物的"避难所"。

致谢 感谢中国乐业-凤山世界地质公园管理局、广西善图科技有限公司、广西山地救援队、乐业飞猫探险队对本次调查和研究工作的支持和帮助。

参考文献:

Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangxi Zhuang Autonomous Region, 1978. Guangxi Leye 1: 200,000 geological maps and specifications [Z]. 1-18 [广西壮族自治区地质矿产局, 1978. 广西 1: 20 万乐业幅地质图及说明书[Z]: 1-18.]

Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangxi Zhuang Autonomous Region, 1982. Guangxi Leye 1: 200000 hydrogeological survey report [R]. 1-31. [广西壮族自治区地质矿产局, 1982. 广西 1:20 万乐业幅水文地质普查报告[R]. 1-31.]

CITES, 2016. Convention on international trade in endangered wild fauna and flora [R]. Scientific committee of the People's Republic of China on endangered species: 1-42. [CITES，2016.濒危野生动物植物物种国际贸易公约[R].中华人民共和国濒危物种科学委员会: 1-42.]

DENG YD, CHEN WH, ZHANG YH, et al., 2012. Analysis on features and values of karst landscape in Leye-Fengshan Global Geopark [J]. Carsol Sin, 31(3): 303-309. [邓亚东, 陈伟海, 张远海等, 2012. 乐业-凤山世界地质公园岩溶地貌景观特征与价值分析[J]. 中国岩溶, 31(3): 303-309.]

FENG HZ, 2015. The study on origin and evolution of Karst Tiankeng flora in Dashiwei, Guangxi [D]. Guilin: Guangxi Normal University: 5-40. [冯慧喆, 2015. 广西大石围天坑群植物区系的起源和演化研究[D]. 桂林: 广西师范大学: 5-40.]

HE TP, WEN XF, ZHANG GG, et al., 2004.Analysis of the resources of the wild ornamental plants and their scenery of landscape architecture from Dashiwei karst doline and cave cluster scenic spot in Guangxi [J]. J Guangxi Agric Biol Sci, 23(2): 159-163. [和太平, 文祥凤, 张国革等, 2004.广西大石围天坑群风景旅游区野生观赏植物及其构景分析[J].广西农业生物科学, 23(2): 159-163.]

HUANG BJ, CAI WT, XUE YG, et al., 2004. Research on tourism resource characteristics of Tiankeng group in Dashiwei, Guangxi [J]. Geogr Geo-Inform Sci, 20(1): 109-112. [黄保健,蔡五田,薛跃规,朱学稳.广西大石围天坑群旅游资源研究[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(1): 109-112.]

IUCN, 2018. 2018 IUCN red list of endangered species [M]. IUCN: 14-32.

LI Y, 2005. Species diversity of Karst Tiankeng forest in Dashiwei Tiankengs, Guangxi [D]. Guilin: Guangxi Normal University: 3-20.[林宇, 2005. 广西大石围天坑群天坑森林物种多样性研究[D]. 桂林: 广西师范大学：3-20]

LIU JR, ZHANG JY, LIANG RC, et al., 2004. Discussion on the features of spore-pollen composition in the cave sediments of the tertiary system and the correlative questions in Dashiwei Tiankeng group, Leye county[J]. Carsologica Sinica, 23(2): 159-163. [刘金荣, 张继淹, 梁耀成, 等, 2004. 乐业县大石围天坑群洞穴第三纪堆积的孢粉组成特征及相关问题的探讨[J]. 中国岩溶, 23(3): 73-80.]

SHEN LN, CHEN WC, XU WB, et al., 2018. Biodiversity research report of Leye-Fengshan Global Geopark, China [R]. Administration of Leye-Fengshan Global Geopark, China: 25-63. [沈利娜, 陈伟才, 许为斌等, 2018. 中国乐业-凤山世界地质公园生物多样性调查研究报告[R]. 中国乐业-凤山世界地质公园管理局: 25-63 .]

SHEN LN, HOU MF, CHEN WC, et al., 2017. Research report on biodiversity of Leye Park in Leye-Fengshan Global Geopark, China [R]. Guilin: Guangxi Normal University: 19-35. [沈利娜, 侯满福, 陈伟才, 等, 2017. 中国乐业-凤山世界地质公园乐业园区生物多样性调查研究报告[R]. 广西师范大学: 19-35]

SU SL, HUANG K, MA B, 2012. Diversity study on pteridophyte flora in the area of Dashiwei Tiankeng group of Leye County [J]. Hebei Agric Sci, 51(5): 948-950. [苏仕林, 黄珂, 马博, 2012. 广西乐业大石围天坑群区蕨类植物多样性研究[J]. 湖北农业科学, 51(5): 948-950.]

SU YQ, XUE YG, FAN PP, et al., 2016. Plant community structure and species diversity in Liuxing Tiankeng of Guangxi [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 36(11): 2300-2306. [苏宇乔, 薛跃规, 范蓓蓓等, 2016. 广西流星天坑植物群落结构与多样性 [J]. 西北植物学报, 36(11): 2300-2306.]

Waltham T, 2005. The 2005 Tiankeng Investigation Project in China [J]. Cave Karst Sci, 32(2): 51-56.

WANG NA, 1994. On forming times of east Asia monsoon [J]. Sci Geogr Sin, 14(1): 81-89. [王乃昂, 1994. 论东亚季风的形成时代[J]. 地理科学, 14(1): 81-89.]

WANG S, XIE Y, 2004. China Species Red List [M]. Beijing: Higher Education Press: 5-58. [汪松, 解焱, 2004. 中国物种红色名录[M]. 北京: 高等教育出版社: 5-58]

WANG XM, WANG MZ, ZHANG XQ, 2005. Palynology assemblages and paleoclimatic character of the late Eocene to the early Oligocene in China[J]. Earth Sci J Chin Univ Geosci, 30(3): 309-316. [王晓梅, 王明镇, 张锡麒, 2005. 中国晚始新世-早渐新世地层孢粉组合及其古气候特征[J]. 地球科学, 30(3): 309-316.]

WHITE WB, DAVID C, 2012. Encyclopedia of caves (second Edition)[M]. Elsevier: 821-825.

WU ZY, ZHOU ZK, LI DZ, et al., 2003. The areal-types of the world families of seed plants[J]. Acta Bot Yunnan, 25(3): 245-257. [吴征镒, 周浙昆, 李德铢等, 2003. 世界种子植物科的分布区类型系统[J]. 云南植物研究, 25(3): 245-257.]

WU ZY, ZHOU ZK, SUN H et al., 2006. The Areal-types of seed plants and their origin and differentiation[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing House: 1-80. [吴征镒, 周浙昆, 孙航, 等, 2006. 种子植物分布区类型及其起源和分化[M]. 昆明: 云南科技出版社: 1-80]

YANG G, PENG CH, LIU YZ, 2019. Tiankeng: An ideal place for climate warming research on forest ecosystems[J]. Environl Earth Sci: 78:46 (https://doi.org/10.1007/s12665-018-8033-y)

ZHU XW, HUANG BJ, 2003. Tiankeng Group in Lesye, Guangxi, China: Discovery, exploration and definition[M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Publishing House: 5-15. [朱学稳, 黄保健, 2003. 广西乐业大石围天坑群: 发现、探测、定义域研究[M]. 南宁: 广西科学技术出版社: 5-15]

ZHU XW, ZHUANG YH, CHEN WH, et al., 2018. Leye Tiankeng[M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Publishing House: 59-67. [朱学稳, 张远海, 陈伟海, 等, 2018. 乐业天坑[M]. 南宁: 广西科学技术出版社: 59-67.]